

УДК 678.06

Е. И. Кордикова, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
А. В. Спиглазов, кандидат технических наук, доцент (БГТУ);
О. И. Карпович, кандидат технических наук, старший преподаватель (БГТУ);
А. Н. Калинка, инженер (БГТУ)

МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОГО ПРОИЗВОДСТВА И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Исследована возможность использования измельченных отходов стеклопластиков для армирования термопластичных полимеров при производстве изделий конструкционного назначения. Определены показатели механических свойств материалов с различным фракционным составом и типом полимерного связующего, изучено влияние на них размеров частиц. Даны рекомендации по использованию существующих технологических решений при производстве изделий по методу пласт-формования и по конструкции отдельных элементов оборудования. Результаты исследований использовались при разработке конструкции элементов люка канализационного, оптимизированы размеры и форма конструктивных элементов.

Possibility of utilisation of a ground waste of fibreglasses for reinforcement of thermoplastic polymers for production of articles of structural function is examined. Parametres of strength properties of materials with a various fractional composition and various type polymeric connecting are defined, agency on them of sizes of corpuscles is studied. Recommendations about utilisation of existing technological solutions by production of articles on a method of seam-formation and on a construction of separate elements of the equipment are made. Results of probes were used by exploitation of a construction of elements of a manhole sewer, sizes and the shape of constructive elements are optimised.

Введение. В представляемой работе рассматривается возможность применения отходов стеклопластика в качестве наполнителя для вторичных термопластичных полимеров, в том числе и смесей термодинамически несовместимых полимеров, при производстве нагруженных изделий.

Наиболее целесообразно, с точки зрения эффективности утилизации, использование высокой степени наполнения для композиционного материала, что в свою очередь накладывает определенные трудности технологического характера. Установлено, что наиболее эффективной технологией переработки является прессование изделий из предварительно пластицированной композиции в охлаждаемой оснастке.

Технология переработки. Отходы стеклопластикового производства представляют собой обрезки от изделий, полученных контактным формованием.

Разработана принципиальная схема и конструкция основных элементов оборудования для измельчения и классификации отходов стеклопластиков. В основе процесса лежит предварительное дробление на куски с последующим измельчением на ударно-центробежной мельнице [1, 2], что позволяет получить волокнистую массу и частично отделить ее от полимерной составляющей.

С целью минимизации абразивного воздействия и улучшения качества совмещения термопластичных полимеров со стекловолокнистой фракцией предложено использовать дополни-

тельный дисковый экструдер-смеситель. Разработана его конструкция (рис. 1), изучено влияние режимов смешения и пластикации на физико-механические характеристики материала.

Таким образом, процесс изготовления изделий состоит из следующих стадий (рис. 2): пластикации расплава с помощью червячного пресса, совмещения с наполнителем в дисковом экструдере, накопления дозы пластицированного материала, формирования из него заготовки, перемещения заготовки в пресс-форму и прессования изделия. Все стадии процесса характеризуются низкой энергоемкостью [3].

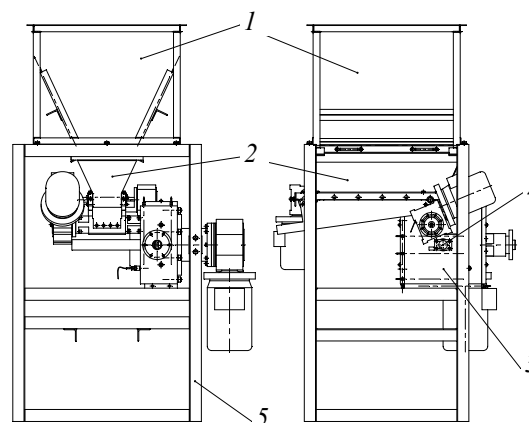


Рис. 1. Устройство пластикации и смешения компонентов.

1 – универсальный контейнер; 2 – бункер-дозатор;
3 – дисковый экструдер; 4 – устройство формирования заготовки; 5 – станина

Исследование структуры отходов стеклопластика важно с точки зрения влияния на показатели физико-механических и технологических свойств размеров частиц волокнистой фракции наполнителя.

Получаемая после измельчения масса имеет большой разброс по длине волокон (полидисперсный материал).

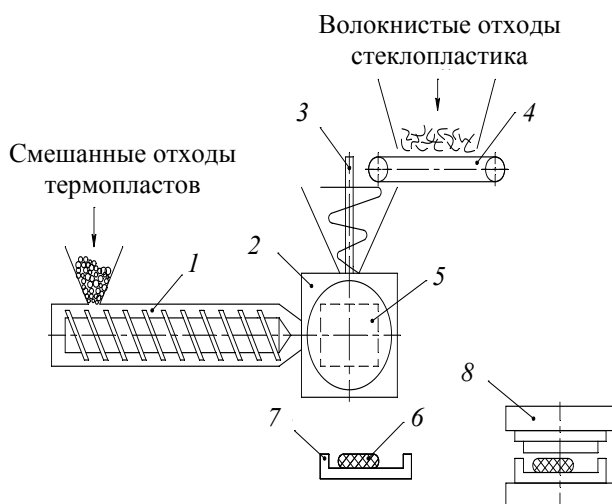


Рис. 2. Схема компаундирования смешанных отходов термопластичных полимеров и волокнистых отходов стеклопластика:

1 – червячный пластикатор; 2 – дисковый экструдер-смеситель; 3 – дозатор с коническим шнеком; 4 – ленточный транспортер; 5 – накопитель; 6 – заготовка; 7 – пресс-форма; 8 – гидравлический пресс

Для использования волокнистой массы в качестве активного армирующего наполнителя необходимо отделить мелкодисперсную составляющую – стеклянную и полимерную пыль. Фракционный состав получаемых после классификации материалов становится более однородным, содержание волокнистой фракции и размеры волокон приведены в табл. 1.

Таблица 1

Состав фракций и степень разрушения

Материал	Степень наполнения, мас. %	Средний размер частиц, мм		Степень измельчения
		исходных	после уплотнения	
Исходная смесь	60	2–8	1,0–4,0	2,0
Полезная фракция	75–80	10–20	3,5–8,5	2,5–3,0
Остаток	20–25	0,5–1,0	0,3–0,5	1,6–2,0

Влияние механического воздействия на гранулометрический состав волокнистой составляющей оценивали по уплотненным в таблетформе навескам при максимальном давлении уплотнения. Результаты изучения гранулометрического состава смесей волокнистых частиц после классификации и уплотнения представлены в табл. 1.

Исследование показателей физико-механических свойств. В результате последовательных операций измельчения, дробления и классификации получили волокнистый материал, структура которого позволяет обеспечить наиболее высокие физико-механические показатели свойств в композиции.

Эффективность использования отходов стеклопластика проверяли по изменению физико-механических характеристик вторичных термопластичных полимеров с содержанием наполнителя от 30 до 60 мас. % [3].

В качестве матричных материалов использовали вторичный полипропилен (ПП) и смесь вторичного полипропилена с акрилобутадиенстирольным пластиком (АБС).

Материал получен по методу пластформования при режимах, соответствующих условиям переработки матричной составляющей в наполненных композициях. Исследование физико-механических свойств материалов проводили в соответствии с ГОСТ на методы испытаний. Полученные результаты представлены в табл. 2. На основании результатов экспериментов определили наиболее эффективные области применения и перечень возможных изделий (табл. 3).

Анализ пригодности использования материалов для нагруженных изделий и отработка параметров процесса формообразования осуществлялась на примере элементов люка канализационного.

Конструкция комплекта изделий люка канализационного. Люк смотрового колодца – верхняя часть перекрытия, устанавливаемая на опорную часть камеры или шахты и состоящая в основном из корпуса и крышки, при необходимости укомплектовывается декоративной плитой (рис. 3).

Форма и геометрические параметры элементов люка канализационного жестко регламентированы, что снижает вариабельность принятия конструктивных решений. Немаловажным критерием является объем материала в деталях, так как определяет требования к технологическим возможностям перерабатывающего оборудования. Вид основных элементов, согласно заданным в стандарте размерам, отработан и оптимизирован с помощью расчетов на жесткость и прочность.

Таблица 2

**Основные физико-механические свойства вторичных термопластов,
наполненных отходами стеклопластиков**

Материал	Степень наполнения, мас. %	Модуль упругости при изгибе, ГПа	Изгибающее напряжение при разрушении, МПа	Модуль упругости при растяжении, ГПа	Прочность на разрыв, МПа	Прочность при срезе, МПа	Ударная вязкость, кДж/м ²
Неклассифицированные стекловолокнистые отходы (Тип I)							
I-ПП-В-СВ20	20	1,51	47,9	2,56	22,5	28,1	–
I-ПП-В-СВ30	30	1,89	41,3	3,54	21,4	25,2	–
I-АБС-ПП-В-СВ30	30	2,6	34,0	3,0	15,3	19,8	4,6
I-АБС-ПП-В-СВ40	40	2,7	33,3	3,1	15,5	21,9	4,9
I-АБС-ПП-В-СВ50	50	3,0	33,5	3,6	15,8	22,2	5,1
I-АБС-ПП-В-СВ60	60	4,2	43,3	2,9	13,9	27,2	6,5
Классифицированные стекловолокнистые отходы (Тип II)							
II-АБС-ПП-В-СВ30	30	2,2	33,0	2,2	13,9	21,0	6,0
II-АБС-ПП-В-СВ40	40	2,6	40,9	2,4	12,9	17,4	6,4
II-АБС-ПП-В-СВ50	50	3,0	37,1	3,8	17,3	23,1	4,6
II-АБС-ПП-В-СВ60	60	4,0	45,3	2,7	14,3	25,8	5,2
Отходы классификации (Тип III)							
III-АБС-ПП-В-СВ30	30	2,6	30,2	2,3	12,3	15,0	5,5
III-АБС-ПП-В-СВ40	40	2,5	31,9	2,8	14,3	21,5	5,4
III-АБС-ПП-В-СВ50	50	2,4	23,6	3,0	13,7	23,0	4,6
III-АБС-ПП-В-СВ60	60	3,1	29,0	3,0	11,1	18,1	4,4

Таблица 3

Области применения изделий из вторичных термопластов и композиций на их основе

Область применения	АБС-В-Л	АБС-В-СВ30	ПП-В-СВ30
Транспортные средства: – кожанки, крышки – сиденья – панели кабины – ящики для запчастей и инструмента – защитные экраны	В В О В В	В В О В В	В В В В В
Товары народного потребления: – ящики – емкости – разносы – поддоны под рассаду, вазоны	В В О В	В О Н О	В О Н О
Станкостроение: – корпуса, крышки – ящики для инструмента	В В	В В	В В
Электротехника: – корпуса, крышки	В	В	В
Строительство: – декоративные панели – плитка половая – решетки	О О Н	О В В	О О О
Мебельная промышленность: – ящики – перегородки, стенки – полки	В В В	В В В	В В В
Спортивный инвентарь: – скейтборд – сноуборд – детские санки	О О О	О О О	В В В

Примечание. В – высокая степень годности, О – ограниченная годности, Н – непригоден.

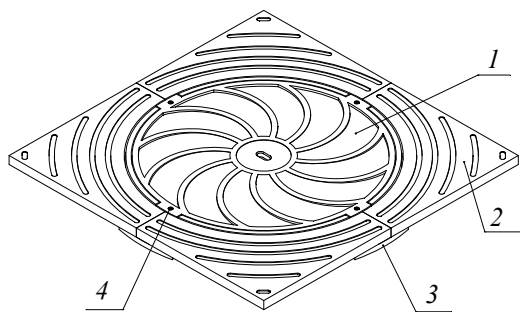


Рис. 3. Люк в сборе с плитами окружения.
1 – крышка; 2 – декоративная плита; 3 – корпус;
4 – элемент крепления

Основной проблемой при эксплуатации люков из полимеров и композиций на их основе является малая масса, что наряду с низкой жесткостью способствует процессу самооткрывания после воздействия динамических нагрузок. Поэтому важно обеспечить достаточно жесткую связь крышки с корпусом.

Исходные данные выбирали из требований назначения и производственных мощностей ОАО «ОЗАА» при минимальных затратах на производство: объем материала в одном элементе изделия – 6 л (максимальный объем полости накопителя); толщина стенок – не более 20 мм (время пребывания изделия в охлаждаемой оснастке – не более 4 мин); отсутствие поднутрений (одно направление разреза технологической оснастки); возможность использования декоративных плит; нагрузка – до 2 тнс (20 кН).

Крышка (рис. 4) закрывает канализационный люк для предотвращения попадания посторонних объектов в систему, а также для предотвращения несчастных случаев.

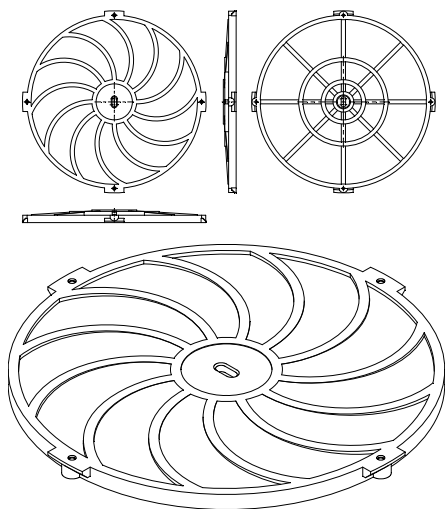


Рис. 4. Крышка люка

Крышка выполнена в виде диска диаметром 585 мм, выпуклого с изнаночной стороны,

и содержит три набора ребер жесткости (рис. 5). Ребра с внешней стороны выполнены в виде спиральных сегментов с минимально возможным радиусом 140 мм. Данная конфигурация позволяет увеличить жесткость конструкции на 10% по сравнению с прямыми радиальными ребрами. С изнаночной стороны присутствует два набора ребер: кольцевые (3 ряда) – для увеличения прочности конструкции и радиальные (8 штук) – для придания жесткости конструкции.

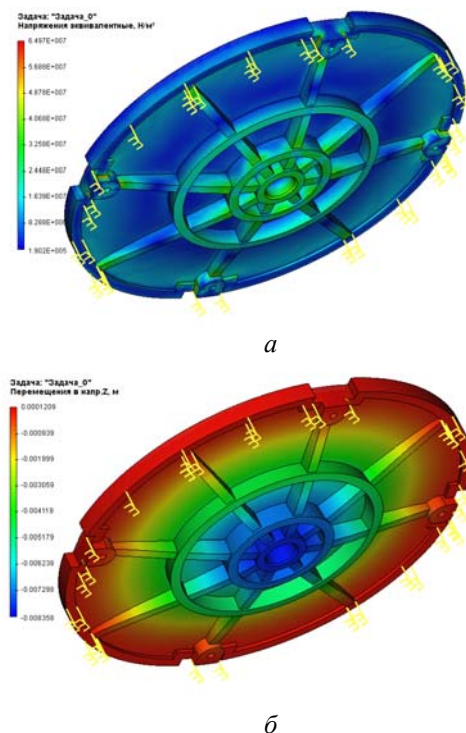


Рис. 5. Расчетные данные по напряжениям (а) и прогибам (б)

Поверхность диска выполнена в виде сферы с минимально возможным радиусом, удовлетворяющим требованиям по толщине крышки и глубине рельефа с наружной поверхности, что приводит к увеличению жесткости на 15%.

Центральная часть наружной поверхности выполнена в виде диска диаметром 150 мм и содержит овальное отверстие для отбора проб загазованности и съема крышки.

Толщину стенок крышки и высоты ребер жесткости выбирали из условия прочности и норм по объему материала (не более 6 л).

Расчет крышки выполняли по методу конечных элементов в системе T-Flex при условии приложения давления, эквивалентного максимальной нагрузке в 20 кН ($p = 1,8$ МПа) в центральной части диаметром 150 мм, и свободным опиранием по контуру (по поверхности контакта с корпусом). В результате расчета (рис. 5) установлено, что действующие в изде-

лии напряжения находятся на уровне 30 МПа и не превышают предельных на изгиб (45 МПа), наибольший прогиб составляет 8 мм.

В результате расчета для крышки, показанной на рис. 4, выявлено, что наиболее оптимальной является конструкция крышки с толщиной стенок 14 мм. При этом объем материала не превышает 5,1 л при массе 6,15 кг.

Корпус люка устанавливается на кольцо опорное КО6 (ГОСТ 8020-90), предназначенное для перераспределения нагрузки с целью защиты опорной плиты перекрытия (ГОСТ 8020-90) от разрушения.

Корпус выполнен в виде кольца (рис. 6). На нижне опорной плоскости сделан буртик высотой 5 мм и ряд овальных отверстий с выходом на кромку, они предназначены для обеспечения лучшей связи с опорным кольцом при помощи раствора. Высота кольца оговаривается с заказчиком и определяется назначением и направлением использования люков. При оценке работоспособности конструкции приняли высоту 60 мм. С внутренней стороны кольца выполнен опорный буртик с шириной кромки, равной толщине стенки крышки (14 мм). В зависимости от способа запираания крышки корпус может содержать вспомогательные элементы (ребра, выемки, отверстия).

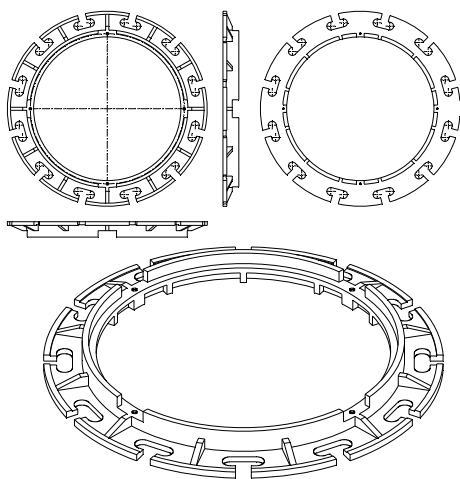
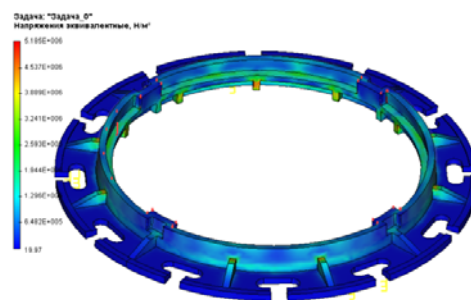


Рис. 6. Общий вид корпуса люка

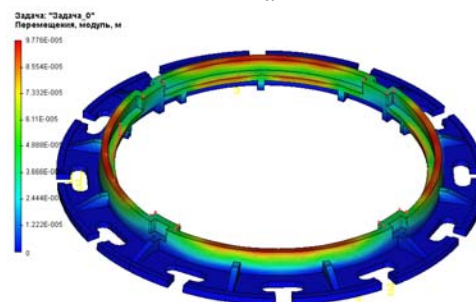
Расчет корпуса выполняли по методу конечных элементов в системе T-Flex (рис. 7) при условии приложения давления, эквивалентного максимальной нагрузке в 20 кН ($p = 1,8$ МПа) по наружной поверхности опорного буртика, и свободным опиранием по контуру (по поверхности контакта с опорным кольцом). Как видно из рис. 7, наибольшие напряжения не превышают 6 МПа, что ниже предельных на изгиб (45 МПа), наибольший прогиб составляет 0,8 мм.

В результате расчета выявлено, что наиболее оптимальной является конструкция корпуса

с толщиной стенок 10 мм. При этом объем материала не превышает 3 л при массе 3,5 кг.



а



б

Рис. 7. Расчетные данные по напряжениям (а) и прогибам (б)

Декоративная плита предназначена для придания эстетического вида вокруг места установки люка, а также для облегчения процесса укладки тротуарной плитки путем придания прямоугольной формы люку.

Плита укладывается на утрамбованный грунт с добавками цемента. В данном случае при нагружении материал плиты работает на равномерное сжатие. Для обеспечения фиксации плит в заданном положении в конструкции плиты предусмотрены зацепы для связи с друг другом и корпусом люка (рис. 8).

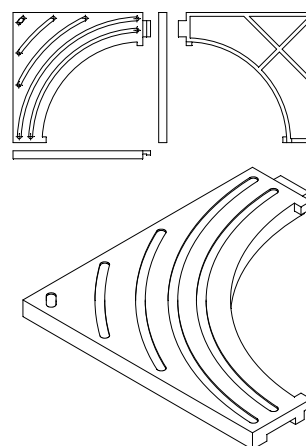


Рис. 8. Общий вид плиты декоративной

Для фиксации положения плит по вертикали по наружному контуру корпуса выполнены ребра с горизонтальными опорными поверхностями, ограничивающими перемещение вниз.

Толщина стенок люка принята равной 14 мм, на лицевой поверхности должен присутствовать декоративный узор (по согласованию с заказчиком). С целью снижения деформаций изгиба от неравномерно утрамбованного грунта с изнаночной стороны выполнены ребра жесткости.

Заключение. В рамках проведенных исследований определены оптимальные параметры оборудования и технологических операций. Установлено, что отходы стеклопластиков после дробления и классификации можно применять в качестве армирующего наполнителя термопластичных полимеров для производства изделий конструкционного назначения, выявлены оптимальные степени наполнения [1, 3]. Проработана конструкция типовых изделий.

Исследования представляют интерес для предприятий, ориентированных на переработку полимеров с образованием достаточно большого количества трудно утилизируемых отходов. Внедрение предлагаемой технологии позволит снизить затраты предприятия за счет ресурсо-

сбережения и решения ряда экологических проблем.

Исследования выполнены согласно заданию 1.29 ГППИ «Полимерные материалы и технологии», финансируемому Министерством образования Республики Беларусь и при поддержке ОАО «Осиповичский завод автомобильных агрегатов».

Литература

1. Спиглазов, А. В. Рециклинг отходов стеклопластиков на основе термореактивного связующего / А. В. Спиглазов, Е. И. Кордилова, Д. И. Чиркун // Молодежный инновационный форум «ИНТРИ» – 2010: материалы секционных заседаний, Минск, 29–30 нояб. 2010 г. / ГУ «БелИСА». – Минск, 2010. – С. 37–40.
2. Schiebisch, J. Zum Recycling von Faserverbundkunststoffen mit Duroplastmatrix: technisch-wissenschaftlicher Bericht / J. Schiebisch. – Nuernberg: Universitaet Erlangen-Nuernberg, 2000. – 139 s.
3. Левданский, Э. И. Проблемы измельчения материалов ударом и некоторые пути их решения / Э. И. Левданский, А. Э. Левданский, П. С. Гребенчук // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорган. в-в. – 2005. – Вып. XIII. – С. 154–158.

Поступила 25.02.2011